

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ**

*Прокопенко В.А., Баранов М.А., Семенюк Н.А., Усов А.Е.*

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург*

**Ключевые слова:** поверхность, гидростатический подшипник, нагрузочная способность, опоры.

**Аннотация.** В статье исследованы зависимости и характеристики гидростатических подшипников и их вариантов опор. Выполнен анализ соответствующих характеристик. Показано, как изменяется жесткость при изменении опоры с плоской на цилиндрическую.

**RESEARCH AND CALCULATION WHEN CHANGING THE CYLINDRICAL SHAPE OF THE SURFACE OF HYDROSTATIC BEARINGS**

*Prokopenko V.A., Baranov M.A., Semenyuk N.A., Usov A.E.*

*Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg*

**Keywords:** surface, hydrostatic bearing, load capacity, supports.

**Abstract.** The article examines the dependencies and characteristics of hydrostatic bearings and their support options. The corresponding characteristics were analyzed. It is shown how the stiffness changes when the support is changed from flat to cylindrical.

Жесткость (нагрузочная способность) гидростатических подшипников (ГСП) определяется путем статических расчетов по методике, разработанной в СПбГТУ [1] с учетом рекомендаций ЭНИМС [2]. Определяющим жесткость параметром является эффективная площадь опоры ГСП. Ее расчет обычно сводится к расчету опоры (рис. 1, а), представляющий собой развертку ГСП на плоскости, при этом цилиндричность (рис. 1, б) опоры практически не учитывается. Ввиду этого представляют интерес сравнительные расчеты нагрузочной способности ГСП и динамических показателей для обоих вариантов (вариант 1 – плоский, вариант 2 – цилиндрический).

*Цель работы.* Выполнить сравнительные расчеты и исследования плоской и цилиндрической вариантов опор рассматриваемых ГСП.

Так как давление в кармане ( $p_k$ ) ГСП является постоянной величиной, то при статических расчетах реакция опоры зависит от площади самого кармана и дросселирующих перемычек: продольной (П) и торцевой (Т).

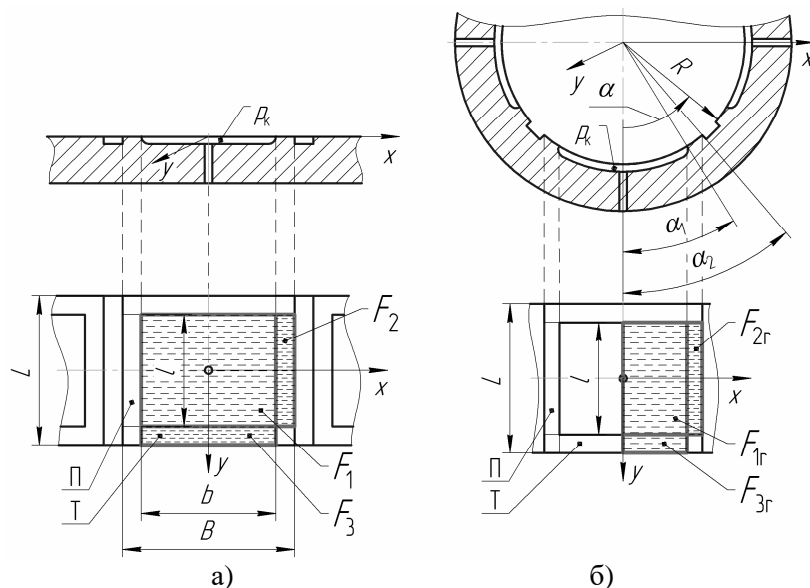


Рис. 1. Расчетный вариант ГСП: а) плоский; б) цилиндрический

При этом эффективная площадь ( $F_{эф}$ ) для варианта 1 с учетом эпюры давления при дросселировании жидкости на рассматриваемых перемычках определяется зависимостью:

$$F_{эф} = F_1 + 2 \cdot F_2 \cdot 0,5 + 2 \cdot F_3 \cdot 0,5,$$

где:  $F_1$  – геометрическая площадь кармана,  $F_2$  – продольной перемычки,  $F_3$  – торцевой перемычки.

Для варианта 2 с учетом цилиндрической формы опоры (рис. 1, б)  $F_{эф}$  определяется интегрированием функций площади соответствующих отмеченных участков [3]:

$$\text{для кармана: } F_{1r} = l \cdot \int_0^{\alpha_1} R \cdot \cos(\alpha) \cdot d\alpha = R \cdot \sin(\alpha_1) \cdot l;$$

для продольной перемычки:  $F_{2r} = l \cdot \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{1}{2} \cdot R \cdot \cos(\alpha) d\alpha = \frac{1}{2} \cdot R \cdot [\sin(\alpha_2) - \sin(\alpha_1)] \cdot l;$

для торцевой перемычки:  $F_{3r} = \left(\frac{L}{2} - \frac{l}{2}\right) \cdot \int_0^{\alpha_1} \frac{1}{2} \cdot R \cdot \cos(\alpha) d\alpha = \frac{1}{2} \cdot R \cdot \sin(\alpha_1) \cdot \left(\frac{L}{2} - \frac{l}{2}\right).$

При выполнении сравнительных расчетов на полученные результаты влияют размеры ГСП, соотношение параметров перемычек, разделительных канавок и др. параметры. Так, для условий ГСП серийного гибкого производственного модуля ЛР400ПМФ-4 с диаметром шпинделя 125 мм [4] установлено, что  $F_{\text{эф}}$  для плоского варианта составляет 0,007 м<sup>2</sup>, а для цилиндрического 0,0065 м<sup>2</sup>, т.е. приближенный расчет дает завышение на 7,3%.

Таким образом, в первом приближении при проектировании ГСП можно использовать представление опоры в виде ее развертки на плоскость и при необходимости корректировать ее размеры.

Выполнена также оценка влияния цилиндричности ГСП на динамические свойства системы автоматического регулирования. В качестве критерия использован показатель запаса устойчивости по фазе ( $\Delta\phi$ ), полученный по логарифмическим частотным характеристикам (ЛЧХ) [5]. На рис. 2 приведены полученные с помощью программы *p\_LH* [4] ЛЧХ для плоского (кривые: 1 – ЛАЧХ, и 1' – ЛФЧХ) и цилиндрического (соответственно 2 и 2') вариантов ГСП. Для варианта 2  $\Delta\phi$  незначительно уменьшен ( $\Delta\phi_2 = 12^\circ$ ) относительно варианта 1 ( $\Delta\phi_1 = 16^\circ$ ). При этом частота среза ( $\omega_{\text{ср}}$ ) – в два раза выше. Установлено, что частота колебаний  $\omega_{\text{ср}}$  и собственная частота ( $\omega$ ) ГСП связаны между собой. По параметру  $\omega$  можно проводить оценку системы ГСП для того, чтобы исключить такие режимы и операции резания, при которых возможно возникновение резонансных колебаний. Для полученных частот  $\omega$  проблемы при обработке на чистовых режимах практически не возникают для обоих рассматриваемых вариантов, однако следует отдельно проанализировать параметры резания при тонком фрезеровании торцевой поверхности. В связи с этим при динамическом анализе предварительно возможно использовать более простой вариант 1 рассмотрения ГСП.

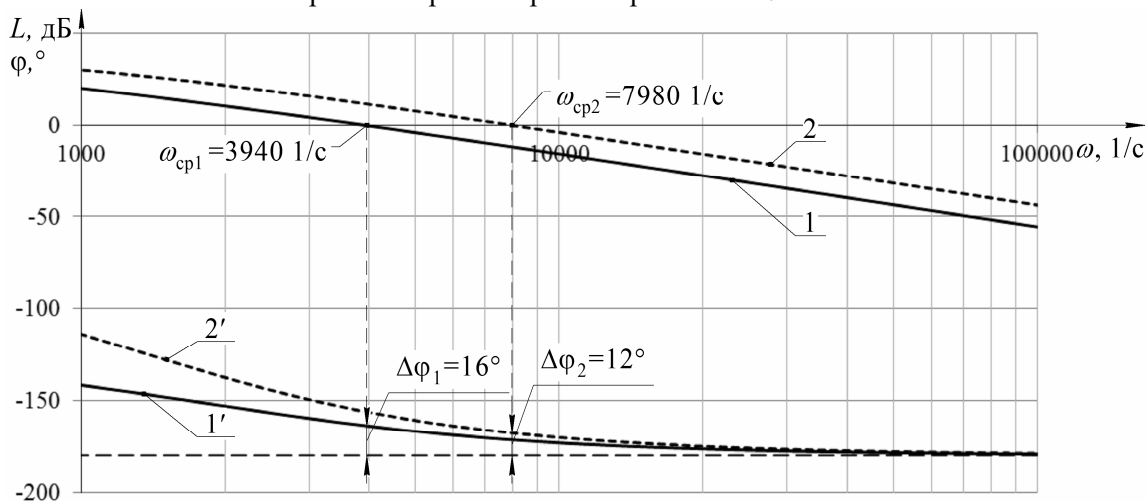


Рис. 2. ЛЧХ вариантов ГСП

**Вывод.** Для примера рассмотрения ГСП величина уменьшения по нагрузочной способности цилиндрического варианта относительно плоского составляет 7,3%, что незначительно, так же, как и при рассмотрении динамики ГСП. Поэтому для инженерных расчетов предпочтительнее использовать более простую плоскую модель ГСП.

**Список литературы**

1. Дудески Л., Петков П.П., Прокопенко В.А., Яцкевич А.А. Методические указания по выполнению расчётов и проектированию подшипников современных высокопроизводительных металлорежущих станков. Л: ЛГТУ, 1990. 37 с.
2. Левит Г.А., Лурье Б.Г. Определение потерь в элементах привод подач станков и расчет направляющих скольжения по характеристикам трения. М.: ЭНИМС, 1961. 89 с.
3. Митин В.А., Прокопенко В.А., Петков П.П. Особенности расчета характеристик гидростатических подшипников // XXXI Неделя науки СПбГПУ. Материалы межвузовской научной конференции, Механико-машиностроительный факультет. 2004. С. 19-20.

4. Бундур М.С., Прокопенко В.А., Пелевин Н.А. Прогнозирование динамического качества шпиндельных гидростатических подшипников при учете энергетических процессов // *Металлообработка*. 2016. Т. 92, № 2. С. 56-63.
5. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. М: Машиностроение, 1983. 608 с.

Сведения об авторах:

*Прокопенко Вячеслав Алексеевич* – к.т.н., доцент, СПбПУ, г. Санкт-Петербург;

*Баранов Матвей Антонович* – студент, СПбПУ, г. Санкт-Петербург;

*Семенюк Никита Анатольевич* – студент, СПбПУ, г. Санкт-Петербург;

*Усов Артем Евгеньевич* – студент, СПбПУ, г. Санкт-Петербург;

---

---